



# Hiérarchisation dans les réseaux ad hoc de véhicules

Véronique Vèque, Colette Johnen

## ► To cite this version:

Véronique Vèque, Colette Johnen. Hiérarchisation dans les réseaux ad hoc de véhicules. 8èmes journées francophones Mobilité et Ubiquité, UBIMOB 2012, Jun 2012, Bayonne, France. pp.45-52. hal-00781267

**HAL Id: hal-00781267**

**<https://hal.science/hal-00781267>**

Submitted on 26 Jan 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

---

# Hiérarchisation dans les réseaux ad hoc de véhicules

Véronique Vèque \*, Colette Johnen \*\*

\* Université Paris Sud - Laboratoire des Signaux et Systèmes, UMR 8506  
veronique.veque@u-psud.fr

\*\* Université de Bordeaux 1 - LABRI, UMR 5800  
johnen@labri.fr

---

**RÉSUMÉ.** Les réseaux de véhicules tendent désormais vers une architecture cellulaire hybride étendue avec une partie ad hoc. Les communications se font soit entre véhicules, soit du véhicule vers l'infrastructure. Cependant, le réseau ad hoc de véhicules (VANET) souffre d'une connectivité discontinue et d'une capacité limitée. La hiérarchisation du VANET apporte des solutions à ces problèmes. Cette approche est bien adaptée aux VANET du fait que la dynamique du trafic véhiculaire entraînent la formation de groupes "naturels" aux intersections ou de convois sur autoroute. De plus, les applications orientées transport sont souvent liées à une région donnée comme un cluster géographique. Dans cette étude, nous passons en revue les critères de regroupement utilisés pour la hiérarchisation des VANET et nous les confrontons aux propriétés souhaitables que sont le passage à l'échelle et la stabilité de la structure. Finalement, nous décrivons plusieurs propositions à différents niveaux protocolaires qui utilisent l'un ou plusieurs de ces critères.

**ABSTRACT.** The vehicular Ad Hoc network (VANET) is often considered as an ad hoc extension of a cellular mobile network. Thus communications are then possible between vehicles as well as from vehicle to infrastructure based-network. However, the VANET suffers from a lack of connectivity and a limited capacity. One solution is to use clustering-based protocol to communicate between vehicles. The Clustering approach is well suited for vehicular networks because the dynamics of vehicular traffic result in the formation of natural groups of vehicles at intersections or convoys on highways. In addition, transportation-oriented applications are often linked to a particular region viewed as a geographic-based cluster. In this study, we review the clustering criteria used for VANET self-organization and we compare them with desirable properties that are scalability and stability of the structure. Finally, we also describe some protocols at different levels that use one or more of these criteria.

**MOTS-CLÉS :** réseau de véhicules, formation de convoi, VANET, hiérarchisation, cluster, stabilité

**KEY WORDS:** vehicular network, hybrid ad hoc network, clustering protocol, stability

---

## 1. Introduction

Les systèmes de transport intelligents (STI) (en anglais Intelligent Transportation Systems (ITS)) désignent les applications des nouvelles technologies de l'information et de la communication au domaine des transports. Les véhicules ont été rendus "intelligents" en leur ajoutant de nouvelles fonctions pour appréhender leur environnement grâce à des capteurs, pour communiquer avec les autres véhicules grâce à des interfaces radio sans fil ou 3G, pour traiter ces informations et prendre des décisions sur le comportement du véhicule grâce à un ordinateur embarqué. Les interfaces radio permettent aux véhicules de communiquer entre eux (appelé *Vehicle-to-Vehicle Communication*, V2V) ou avec des unités installées au bord de la route selon des communications V2I (*Vehicle-to-Infrastructure Communications*). Le télépéage en est l'exemple le plus répandu. Dans le domaine de la sécurité routière, les communications entre véhicules étendent la portée de détection des capteurs radar embarqués. Par exemple, un véhicule qui détecte la présence de verglas pourra communiquer cette information aux véhicules qui le suivent. Prévenus à l'avance, les conducteurs pourront ralentir plus tôt et ainsi éviter le dérapage. Des services orientés utilisateur nécessitent une connexion à Internet ou au moins à un réseau opéré et l'on parle alors de communications V2V2I pour *Vehicle-to-Vehicle-to-Infrastructure*. Une architecture V2V2I est donc constituée de deux parties, d'une part des réseaux ad hoc de véhicules ou VANET et d'autre part, un réseau mobile classique avec des stations de base reliées à un réseau fixe. Une telle architecture présente un double avantage. D'une part, les VANET étendent la couverture du réseau d'infrastructure à des zones non couvertes et d'autre part, le réseau d'infrastructure interconnecte les VANET entre eux et leur permet l'accès à des services de type Internet.

Les réseaux ad hoc de véhicules sont un cas particulier des réseaux ad hoc mobiles caractérisés par une forte dynamique due à la mobilité rapide des véhicules. Cependant, le réseau ad hoc de véhicules souffre d'une connectivité discontinue et d'une capacité limitée. En effet, si la densité du trafic sur autoroute est faible, nous avons montré que le réseau n'était plus connexe [?] et était partitionné en groupes de véhicules déconnectés les uns des autres [MAB 06]. Au contraire, si la densité devient importante comme dans un embouteillage, ses performances en termes de débit offert et de délai s'écroulent [LI 01]. Enfin, si le réseau s'étend sur plusieurs km d'autoroute, le délai et le taux de pertes de paquets augmentent avec sa longueur. Ces problèmes sont étroitement liés à la propriété de passage à l'échelle du réseau qui est un des objectifs des réseaux hiérarchiques.

La hiérarchisation du VANET (ou clustering en anglais) organise le réseau en groupes de nœuds ou *cluster* et apporte alors des solutions à ces problèmes si l'on tient compte des particularités des VANET. Pour les réseaux ad hoc, de capteurs ou les MANET, de très nombreux travaux ont été publiés sur le sujet et l'on pourra consulter notamment deux synthèses sur ce sujet : [YU 05] et [AGA 09]. La hiérarchisation est bien adaptée aux VANET du fait que la dynamique du trafic véhiculaire entraînent la formation de groupes "naturels" aux intersections ou de convois sur autoroute. De plus, les applications orientées transport sont souvent liées à une région donnée équivalente à un *cluster* géographique. En divisant l'espace, le réseau devient plus facile à gérer et les messages de coordination ne sont plus échangés entre tous les nœuds mais au sein du groupe. Par contre, les VANET étant fortement dynamiques, les groupes souffrent de fréquentes mises à jour ce qui réduit d'autant les performances et l'intérêt de l'approche hiérarchique. Dans cette synthèse, nous montrons que le regroupement des véhicules doit prendre en compte la dynamique temporelle et spatiale du trafic véhiculaire et nous présentons les principaux critères de regroupement. Nous les confrontons

aux propriétés souhaitables que sont le passage à l'échelle et la stabilité de la structure. Finalement, nous décrivons aussi quelques propositions qui utilisent l'un ou plusieurs de ces critères.

## 2. Clustering ou hiérarchisation du réseau

### 2.1. Généralités sur la hiérarchisation dans les réseaux ad hoc mobiles

L'organisation d'un réseau ad hoc en groupes de noeuds est connue sous le nom de *clustering* en anglais que nous traduisons par *hiérarchisation* du réseau [YU 05][AGA 09]. La hiérarchisation du réseau organise le réseau en groupes de noeuds ou *cluster*. Dans le groupe de noeuds constitué, un noeud joue un rôle particulier, le *clusterhead* (CH) qui organise les communications au sein du cluster et sert de passerelle pour communiquer avec les autres groupes et les interconnecter. Dans les réseaux de capteurs, le *clusterhead* peut servir de collecteur d'informations de premier niveau et est connecté aux autres *clusterheads* avec des liens à plus haut débit.

La hiérarchisation présente de nombreux avantages dont le premier est le passage à l'échelle des protocoles. En effet, la division de l'espace rend le réseau plus facile à gérer et diminue les messages de coordination échangés entre tous les noeuds. Par exemple, le routage hiérarchique utilise un routage interne au *cluster* et un autre type de routage entre les *clusters*. Le second avantage est la réduction de la charge d'exécution des protocoles de haut niveau sur tous les noeuds individuels. Enfin, du point de vue de la transmission radio, la hiérarchisation en limitant les interactions entre noeuds permet aussi de limiter les collisions d'accès et les interférences.

La première étape de la hiérarchisation est l'algorithme de formation des *clusters*. Les algorithmes de formation de *clusters* peuvent être classés selon leur façon de contrôler :

- la taille des *clusters* définie soit par le nombre maximum de noeuds dans le *cluster*, ou par la taille en km du cluster dans un contexte géographique,
- le nombre maximum de sauts entre chaque membre et son *clusterhead*,
- le nombre maximum de *clusters* dans le réseau,
- un critère particulier selon l'application considérée.

Le *clusterhead* est déterminé par un algorithme d'élection qui peut constituer l'initialisation du *cluster*. Les algorithmes de formation de *clusters* incluent aussi des fonctions d'ajout ou de retrait de noeuds.

Dans les réseaux ad hoc, chaque noeud connaît ses voisins et leurs paramètres au moyen de la procédure de découverte de voisinage appelée en anglais *Neighbour Discovery* ou *Beacon Process*. En général, chaque noeud diffuse périodiquement dans sa zone de couverture radio, donc à tous ses voisins, des messages HELLO qui contiennent au moins son identifiant mais aussi des informations d'état, comme sa position, la liste de ses voisins, etc.

Dans un réseau ad hoc, les approches de hiérarchisation sont naturellement distribuées et nécessitent de nombreux échanges de messages pour la construction et le maintien des clusters. Ce coût de la hiérarchisation est appelé *clustering overhead*. L'objectif d'un algorithme de formation de clusters sera donc de limiter au maximum cet *overhead* tout en assurant la *stabilité* de la structure

formée. Une autre propriété recherchée en cas de mobilité des noeuds, réside dans la capacité de s'adapter rapidement aux changements de structure qui surviennent lorsque le *clusterhead* ou les noeuds quittent le groupe ou les liens radio sont coupés.

#### 2.1.1. Contrôle du nombre de sauts

Les algorithmes DCA (Distributed Clustering Algorithm) et DMAC (Distributed Mobility-Adaptive Clustering)[BAS 99] permettent de constituer des *clusters* 1-saut dont chacun des membres est au moins voisin d'un *clusterhead*. Dans DCA, le *clusterhead* est défini comme le nœud de plus fort poids. Le poids peut représenter le degré d'un nœud, l'inverse de sa vitesse moyenne, un identifiant, etc. Cet algorithme est bien adapté aux réseaux ad hoc dont la topologie est statique ou quasi-statique. L'algorithme DMAC est mieux adapté aux réseaux dynamiques, car il introduit un algorithme de maintenance du *cluster* qui réagit aux changements de topologies de niveau MAC : nouveau lien et rupture d'un lien. De plus, il autorise un plus grand nombre de *clusters* assurant ainsi une plus grande stabilité de la structure hiérarchique. Avec un cluster 1-saut, les communications intra-cluster ne nécessitent aucun routage et sont simplifiées à l'extrême. Cependant, ces algorithmes peuvent conduire à un grand nombre de clusters. Enfin, un cluster 1-saut aura une couverture limitée qui entraînera de fréquentes mises à jour de cluster en cas de mobilité. Pour minimiser le nombre de *clusters*, les auteurs de [NOC 03] ont généralisé l'algorithme 1-saut à k-sauts. Pour découvrir le voisinage à k-sauts, les messages de mise à jour du *cluster* sont diffusés avec un nombre maximum de sauts ou TTL égal à  $k$ .

#### 2.1.2. Contrôle du nombre de nœuds

Il est également possible de limiter la taille d'un *cluster* par le nombre maximum de nœuds dans un *cluster*. En effet, maintenir des clusters de taille équilibrée permet d'équilibrer la charge des communications entre les noeuds [OHT 03] et de réduire les collisions au sein du groupe. Dans ce même papier, si le *cluster* dépasse la taille maximale fixée, il est divisé en deux, par élection d'un nouveau *clusterhead*. Si le *cluster* est considéré comme trop petit, un nœud en bordure d'un *cluster* voisin plus grand est recruté.

La formation de *clusters* dans un réseau *ad hoc* n'est pas une fin en soi mais un moyen d'améliorer le routage *ad hoc* en limitant ses temps de recherche ou l'overhead de signalisation. Ainsi, [NIU 06] propose un protocole de routage *ad hoc* basé sur un algorithme de formation de *clusters* k-sauts. Le réseau ad hoc est hiérarchisé en deux niveaux : le niveau supérieur (niveau des *clusters*) et le niveau inférieur (niveau des nœuds). Au niveau du *cluster*, le routage est proactif : chaque *clusterhead* maintient un graphe de l'ensemble des clusterheads du réseau et une liste des membres du *cluster* associé. Une autre stratégie pour améliorer les performances d'un routage réactif est proposé dans [OHT 07] avec la formation des *clusters* selon [OHT 03]. Un *clusterhead* construit un arbre de recouvrement minimal à partir des informations sur la topologie de son *cluster* obtenu par les messages envoyés périodiquement par les membres de son *cluster*. Les requêtes de routage sont diffusées sur l'arbre et non par inondation, réduisant ainsi l'overhead.

### 3. Hiérarchisation dans les réseaux *ad hoc* de véhicules

Comme nous l'avons dit, les approches de hiérarchisation sont bien adaptées aux réseaux de véhicules du fait que la dynamique du trafic véhiculaire entraînent la formation de groupes "naturels" aux intersections ou de convois sur autoroute. Nous montrons dans la suite que beaucoup de protocoles hiérarchiques pour VANET prennent en compte des informations spatiales mais aussi temporelles du comportement des véhicules.

En plus des avantages déjà énoncés précédemment, la hiérarchisation des réseaux de véhicule permet d'introduire des structures stables dans un environnement très instable. Cet avantage est surtout vrai si le groupe est constitué en tenant compte de la dynamique de déplacement particulière des véhicules à savoir, leur sens de déplacement et leur vitesse. Il en découle une durée de vie plus longue des clusters que certains papiers qualifient de propriété de "résilience" du réseau [SOU 10]. Nous présentons dans le paragraphe 3.1 les critères spatiaux et temporels utilisés dans certains protocoles de routage dits "Clustering mobility-based".

Dans les réseaux de véhicules, la hiérarchisation du réseau n'est pas seulement utilisée pour améliorer le routage mais à d'autres niveaux de l'architecture protocolaire. Ainsi, on trouve aussi des techniques de clustering au niveau MAC et au niveau applicatif pour la localisation ou pour les applications du domaine des transports.

#### 3.1. Routage hiérarchique dans les VANET et prise en compte de la dynamique des véhicules

##### 3.1.1. Dynamique du trafic dans les VANET

Comme pour les MANET, de nombreux algorithmes de formation de *clusters* ont été proposés pour améliorer les protocoles de routage des réseaux de véhicules et notamment leur passage à l'échelle. Dans un réseau fortement dynamique comme les VANET, la mobilité des noeuds perturbe la structure hiérarchique et provoque de fréquentes réorganisations des groupes [GHO 08]. Cette instabilité se traduit par un plus grand nombre de messages échangés et de mauvaises performances. La propriété de stabilité des clusters apparaît comme primordiale pour ces réseaux dynamiques. Dans [LEE 10], la comparaison des protocoles de routage pour les réseaux VANET montre la supériorité des protocoles dits "géographiques" ou "position-based". Pour maintenir la stabilité des clusters, la position des véhicules n'est pas suffisante et de nombreuses propositions utilisent des informations tant spatiales que temporelles qui permettent d'appréhender la dynamique particulière des véhicules en mouvement et de construire des clusters ayant une durée de vie plus longue.

L'idée est de grouper les véhicules selon leurs dépendances spatiales ou temporelles. Les dépendances spatiales sont représentées par la position du véhicule et sa distance vis-à-vis d'un autre point, sa direction de déplacement ou la qualité de son lien radio avec un autre véhicule. Les dépendances temporelles sont la vitesse de déplacement du véhicule et surtout la vitesse relative entre deux véhicules. Nous allons maintenant passer en revue les travaux qui ont utilisé ou combiné ces différentes approches.

Depuis quelques années, les véhicules sont le plus souvent équipés de récepteurs GPS (Global Positioning System) qui donnent les coordonnées de latitude et longitude du véhicule. Cependant, la

précision de ces équipements grand public n'est que de 5 à 10 m. Des technologies intégrées dans les véhicules intelligents permettent maintenant d'améliorer la précision de cette position notamment grâce au positionnement sur la carte, aux capteurs embarqués sur le véhicule comme les radars de distance et l'odomètre [CAP 06, DEA 09]. Les différentes propositions de clusters basés sur la position ou la mobilité utilisent ces technologies de localisation précises.

### 3.1.2. *Clustering en fonction de la voie où se trouve le véhicule*

[ALM 10] affine la position du véhicule avec la connaissance exacte de la voie sur laquelle roule le véhicule. La voie est obtenue en confrontant la position du véhicule avec une carte précise des rues. En visant une application d'aide au freinage d'urgence, un cluster est construit pour chaque voie en fonction de sa future direction après une intersection : " tourne à gauche, à droite ou tout droit".

### 3.1.3. *clustering en fonction de la distance relative entre les véhicules*

Un autre critère de regroupement qui découle de la position des véhicules est la *distance* relative entre les véhicules ou leur appartenance à une région géographique donnée [BON 07][JAY 12]. L'objectif est de limiter les diffusions de messages dans un espace contraint, que ce soit pour le routage ou pour les applications ITS dont la portée est locale. La distance euclidienne entre deux noeuds est calculée comme la différence entre leurs coordonnées respectives. Cependant, il existe un effet oscillatoire de la distance entre les véhicules. Dans [BLU 03], cet effet est pris en compte avec un critère de distance (géographique) maximale entre deux clusterheads. Ils ajoutent également un critère basé sur le point de sortie du véhicule de la route [JAY 12].

### 3.1.4. *Clustering en fonction de la direction de déplacement (movement-based)*

Il a été remarqué très tôt que des véhicules circulant en sens inverse ne pouvait pas communiquer très longtemps [DUC 07] [MEN 07]. Pire, regroupés dans un même cluster, ces véhicules ont un temps de résidence dans le cluster très court et rendent la structure instable. La direction est obtenue à partir de l'historique des positions du véhicule, avec ou sans confrontation à une carte ou grâce à l'angle du déplacement par rapport au nord. De nombreux travaux récents utilisent donc la direction comme critère de regroupement des véhicules [TAL 06]. Dans [TAL 06], le protocole VHRP (Vehicle-Heading Based Routing Protocol) crée des groupes de véhicules selon leur direction avec comme clusterhead, le véhicule de tête. A l'intérieur du groupe, il est établi un chemin entre tous ses membres en privilégiant la qualité des liens radio. Le changement de direction et la rupture du lien radio provoquent un changement de groupe. La simulation montre qu'en faisant varier la vitesse, VHRP réduit les pertes de paquets en comparaison de protocoles réactifs classiques. Cependant, l'analyse n'a pas été assez poussée. [FAN 07] étend les travaux de [FAN 05] pour prendre en compte la direction de déplacement des véhicules : deux véhicules circulant dans la direction opposée ne peuvent pas être dans le même *cluster*. L'élection du clusterhead est basée sur la situation antérieure des noeuds, les anciens clusterhead étant favorisés.

### 3.1.5. *Clustering en fonction de la vitesse et de la vitesse relative*

Une particularité des réseaux VANET est la vitesse à laquelle se déplacent les véhicules. Cette vitesse a donc été prise en compte pour regrouper les véhicules en convoi car un convoi de véhicules

de vitesse quasi-identique est une structure relativement stable. Le critère de mobilité est plus précis et est appelé selon les travaux, mobilité agrégée ou vitesse relative. Avec la direction, c'est le critère qui a le plus amélioré la stabilité des *clusters*. Ainsi, [BAS 01] a introduit le concept de mobilité agrégée (aggregate mobility) pour améliorer la stabilité des clusters dans leur algorithme MOBIC. Les auteurs proposent une métrique de mobilité relative pour les MANET. La mobilité relative est mesurée grâce à la puissance de signal reçue (RSS-Received Signal Strength) qui est une indication de la distance entre l'émetteur et le récepteur. La puissance reçue est échangée entre les noeuds lors de la procédure de découverte de voisinage. Le rapport entre deux mesures successives fournit la métrique de mobilité relative. L'élection du clusterhead se fait selon l'algorithme Lowest-ID où l'identifiant est la variance de mobilité relative. Le changement de clusterhead est réalisé si deux clusterhead sont à portée l'un de l'autre et les deux clusters sont fusionnés. Un membre hors de portée de son clusterhead quitte le cluster et peut en rejoindre un autre. Les propositions suivantes améliorent cette idée de base. Dans [FAN 05], les auteurs prennent en compte la vitesse ou la position des véhicules voisins dans l'algorithme d'élection de *clusterhead* (k-sauts Lowest-ID et Highest-Degree), afin d'augmenter la stabilité du *cluster*.

### 3.1.6. *Clustering en fonction de la position, de la vitesse et de la direction*

[SHE 09] regroupe les véhicules grâce à une fonction d'affinité qui considère à la fois la position du noeud et sa vitesse. Pour différents intervalles de mise à jour de cluster et différentes vitesses, [SHE 09] exhibe des métriques de stabilité telles que la durée de vie moyenne du clusterhead, la durée de vie moyenne des membres, le taux de changement de clusterhead et le nombre moyen de clusters comparé au protocole MOBIC [BAS 01]. Les résultats montrent bien que leur approche améliore énormément la stabilité des clusters.

[SOU 10] utilise le même principe mais propose une métrique de mobilité plus précise appelée ALM (Aggregate Local Mobility) avec l'hypothèse assez réaliste que tout véhicule connaît sa position géographique. De la même façon, les véhicules incluent leur position dans les messages HELLO diffusés dans leur voisinage. Le ratio entre deux distances successives définit la mobilité relative entre deux véhicules. ALM forme des clusters cohérents de véhicules de même vitesse et de même direction dont l'analyse de performances démontre leur stabilité.

Nous présentons dans la suite l'approche que nous avons développé [?] et qui se base sur ces convois naturels et les organise à partir de critères de position, de vitesse relative, de direction et de qualité du lien radio.

### 3.1.7. *Notre protocole CONVOI*

Sur autoroute, les véhicules se suivent sur une ligne et ont tendance à se regrouper en convois à l'approche d'un poids lourd ou lorsque la route devient sinueuse [MAB 06]. La formation de convois est donc naturelle dans un contexte autoroutier. Dans notre protocole appelé CONVOI [?], nous utilisons ces convois naturels pour hiérarchiser le réseau de véhicules. Le véhicule en tête du convoi est désigné comme *clusterhead*. Nous considérons qu'un véhicule est équipé d'une seule interface de transmission sans fil, d'un système de géolocalisation performant utilisant un terminal GPS ainsi que des informations propres au véhicule telle que sa vitesse actuelle et sa direction. CONVOI combine plusieurs des critères présentés dans le paragraphe 3.1. Afin d'assurer la stabilité du convoi, l'adhésion d'un nouveau véhicule au convoi est fonction de :



- sa position,
- sa vitesse relative,
- sa direction de déplacement,
- la durée de vie de son lien radio avec un membre du convoi visé.

A l'intérieur du convoi, les communications peuvent se faire en plusieurs sauts. Notre algorithme forme donc des clusters k-sauts. Pour limiter la congestion à l'intérieur du cluster, nous avons de plus défini une *longueur maximale de convoi* en km sans limiter le nombre de véhicules présents dans le convoi. À l'intérieur du *cluster*, le graphe représentant le réseau doit alors être connexe et la communication entre véhicules sera assurée au moyen d'un protocole de routage *intra-cluster*. Une étude de simulation cherche à trouver le bon réglage pour le paramètre de longueur maximale de convoi. Notre analyse de performance montre que les clusters sont stables dans plusieurs scénarios de densité et de vitesse des véhicules.

Lorsque l'on dispose de beaucoup d'informations sur le déplacement et la position des véhicules, il est possible de concevoir des protocoles hiérarchiques qui sont stables et qui minimise l'overhead de mise à jour des *clusters*. Ces mêmes principes ont été utilisés dans deux autres contextes : le protocole d'accès au medium radio et les applications ITS.

## 4. Hiérarchisation des VANET pour MAC et les applications de transport

### 4.1. Protocole MAC à base de cluster

Les protocoles MAC (Medium Access Control) hiérarchiques visent à palier différents problèmes induits par la forte mobilité des véhicules. En regroupant les véhicules de vitesse comparable dans des clusters, on peut réduire la mobilité relative des noeuds voisins en communication. Ils apportent une amélioration certaine pour un réseau dense de véhicules par exemple, lors d'un embouteillage. Le nombre limité de noeuds en compétition dans le cluster réduit les contentions et donc la congestion du réseau, et minimise l'influence du problème du terminal caché. La qualité de service peut de plus être assurée à l'intérieur du cluster. Le protocole CBMAC (Cluster-based medium access control) [GUN 07] a été l'un des premiers protocoles MAC hiérarchiques proposés. Les membres du cluster arrivent et quittent le cluster en fonction d'un poids qui dépend de leur vitesse, leur distance au clusterhead et de leur connectivité. Le rôle du clusterhead est ensuite d'allouer la bande passante partagée en TDMA (Time Division Multiple Access) aux différents membres du cluster. [RAW 08] et [SHE 09] sont deux autres exemples d'utilisation du *clustering* pour améliorer le protocole MAC.

### 4.2. Hiérarchisation pour les applications de transport

Les applications orientées transport (Intelligent Transportation System-ITS) ont souvent une portée limitée à une zone géographique qu'elles concernent un accident ou l'état du trafic routier. Les coordonnées (latitude et longitude) de l'émetteur sont donc transférées en même temps que ces informations. Nous avons vu qu'il était aisé de connaître la position du véhicule lui-même au moyen d'un équipement de géo-localisation (GPS device). Par contre, il est nécessaire de faire appel à un

service de localisation pour connaître la position d'une destination lointaine. Cette recherche est coûteuse car elle se fait le plus souvent de manière gloutonne ou (*Greedy* en anglais)[DAS 05]. Les techniques de formation de *clusters* peuvent améliorer le passage à l'échelle d'un protocole de localisation géographique dans un réseau de véhicules. Dans [SAN 06], les auteurs proposent un algorithme de formation de clusters à 2-sauts avec désignation de clusterhead qui peuvent servir de passerelles. L'overhead de localisation est diminué car seuls les nœuds passerelles transmettent les requêtes de localisation.

Une autre famille d'applications de transport utilise la diffusion de données de trafic ou de sécurité dans une zone limitée. Par exemple, les applications *FCD* (*Floating car data*) [LIN 06] consistent à collecter les différentes informations produites par les capteurs du véhicule (position, vitesse et direction) et à les diffuser aux véhicules voisins de manière à enrichir la connaissance globale de la scène routière. Parmi les approches hiérarchiques développées pour la dissémination de données, nous avons choisi de présenter : [MAS 11b], [OHT 12], [RÉM 12].

[MAS 11a] considère une application de dissémination visant à contrôler dynamiquement les feux de signalisation aux intersections. Cette dissémination repose sur deux protocoles hiérarchiques appelés C-DRIVE et MC-DRIVE [MAS 11b] dont les clusters sont composés des véhicules proches de l'intersection et selon leur direction future (gauche, droite, tout droit, demi-tour) après l'intersection. La taille du cluster est limitée à une certaine distance de l'intersection. A cette distance, chaque véhicule diffuse un message HELLO contenant son Identifiant, sa direction et sa voie de circulation à condition qu'il trouve un autre véhicule devant soi. Les deux protocoles diffèrent dans leur façon de choisir le clusterhead.

[OHT 12] propose un schéma de transfert de données à base de clusters en utilisant la position et la direction du déplacement des véhicules. A l'intérieur d'un cluster, les paquets de données sont diffusés de manière épidémique à partir du clusterhead jusqu'à atteindre le véhicule de destination. Quand deux clusters sont à portée l'un de l'autre, chaque cluster décide s'il doit transférer ou non ses paquets en fonction de leur position, de leur direction et de la position de la destination. La construction et le maintien des clusters ne sont pas détaillés par les auteurs.

[RÉM 12] vise aussi les applications de dissémination de type FCD pour la norme de réseau mobile de quatrième génération, LTE Advanced. Tirant partie du fait que la norme LTE prévoit intrinsèquement la communication entre les terminaux (et donc la signalisation), LTE4V2X propose de réaliser la formation de groupes de manière centralisée, par la station de base (ou E-NodeB) elle-même [RÉM 11]. Les véhicules sont supposés disposer à la fois d'une interface LTE et d'une interface IEEE 802.11p. Le double objectif est à la fois de diminuer la charge du trafic montant vers la station de base et d'étendre la couverture du réseau grâce aux communications locales entre véhicules. La formation du cluster prend en compte deux critères : la vitesse et la direction. Le maintien et la mise à jour des groupes est périodique ce qui fait que l'overhead est insensible aux nombres de véhicules ou aux changements de groupe. Par contre, la charge de calcul supplémentaire sur l'eNode-B n'a pas été étudiée. La propriété de stabilité du cluster ou leur durée de vie n'ont pas non plus été mises en exergue alors que l'on voit bien que chaque eNode-B doit mettre à jour en continu les clusters lorsque les véhicules entrent et quittent rapidement les clusters.

Les différents travaux que nous avons présentés mettent en avant la nécessité de prendre en compte les caractéristiques spatiales et temporelles des véhicules pour former des clusters stables.

Dans [MAB 06] et dans [WIS 07], l'analyse du trafic routier sur autoroute montre que les véhicules ont tendance à se regrouper naturellement en convoi de même direction et de même vitesse.

## 5. Conclusion

L'organisation en clusters est bien adaptée aux VANET car des groupes naturels se forment aux intersections ou sur autoroute. Cependant, les VANET sont des réseaux fortement dynamiques et la hiérarchisation du réseau doit se faire selon des critères représentatifs du comportement spatial et temporel des véhicules en mouvement. L'objectif est d'introduire des structures stables dans un système globalement instable. Parmi les critères utilisés dans les différents protocoles et algorithmes de clustering que nous avons présentés, nous avons principalement retenu : la position géographique, la distance entre véhicules, la vitesse et la vitesse relative au sein du groupe et la direction de déplacement. Nous avons ensuite présenté des cadres d'utilisation propres aux réseaux de véhicules comme le niveau ou les applications ITS.

## 6. Bibliographie

- [AGA 09] AGARWAL R., MOTWANI M., « Survey of clustering algorithms for MANET », *CoRR*, vol. abs/0912.2303, 2009.
- [ALM 10] ALMALAG M., WEIGLE M., « Using traffic flow for cluster formation in vehicular ad-hoc networks », *Local Computer Networks (LCN), 2010 IEEE 35th Conference on*, oct. 2010, p. 631 -636.
- [BAS 99] BASAGNI S., « Distributed clustering for ad hoc networks », *Parallel Architectures, Algorithms, and Networks, 1999. (I-SPAN '99) Proceedings. Fourth International Symposium on*, Perth/Fremantle, WA, Australia, 1999.
- [BAS 01] BASU P., KHAN N., LITTLE T., « A mobility based metric for clustering in mobile ad hoc networks », 2001.
- [BLU 03] BLUM J., ESKANDARIAN A., HOFFMAN L., « Mobility management in IVC networks », *Intelligent Vehicles Symposium, 2003. Proceedings. IEEE*, juin 2003, p. 150-155.
- [BON 07] BONONI L., DI FELICE M., « A Cross Layered MAC and Clustering Scheme for Efficient Broadcast in VANETs », *Mobile Adhoc and Sensor Systems, 2007. MASS 2007. IEEE International Conference on*, oct. 2007, p. 1 -8.
- [CAP 06] CAPPELLE C., POMORSKI D., YANQIN Y., « GPS/INS Data Fusion for Land Vehicle Localization », *IMACS Multiconference, Computational Engineering in Systems Applications, CESA'2006*, Beijing, China, 10 2006, p. 21-27, 10.1109/CESA.2006.4281617.
- [DAS 05] DAS S., PUCHA H., HU Y., « Performance comparison of scalable location services for geographic ad hoc routing », *INFOCOM 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies.*, vol. 2, 2005.
- [DEA 09] DEAN A., BRENNAN S., « Terrain-based road vehicle localization on multi-lane highways », *American Control Conference, 2009. ACC '09.*, june 2009, p. 707 -712.
- [DUC 07] DUCOURTHIAL B., KHALED Y., SHAWKY M., « Conditional Transmissions : Performance Study of a New Communication Strategy in VANET », *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 56, n° 6, 2007, p. 3348 -3357.

- [FAN 05] FAN P., NELSON P. C., HARAN J., DILLENBURG J., « Cluster-Based Framework in Vehicular Ad-Hoc Networks », , 2005, p. 32–42, Springer-Verlag.
- [FAN 07] FAN P., MOHAMMADIAN A. K., NELSON P. C., HARAN J., DILLENBURG J., « A Novel Direction Based Clustering Algorithm in Vehicular Ad Hoc Networks », 86th Annual Transportation Research Board Meeting, January 2007.
- [GHO 08] GHOSH R., BASAGNI S., « Mitigating the impact of node mobility on ad hoc clustering », *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 8, n° 3, 2008, p. 295–308, John Wiley and Sons Ltd.
- [GUN 07] GUNTER Y., WIEGEL B., GROSSMANN H., « Cluster-based Medium Access Scheme for VANETs », *Intelligent Transportation Systems Conference, 2007. ITSC 2007. IEEE*, 30 2007-oct. 3 2007, p. 343 -348.
- [JAY 12] JAYASUDHA K., CHANDRASEKAR C., « Hierarchical Clustering Based Greedy Routing in Vehicular Ad Hoc Networks », *European Journal of Scientific Research (EURASIP)*, vol. 67, n° 4, 2012, p. 580-594.
- [LEE 10] LEE K. C., LEE U., GERLA M., Survey of Routing Protocols in Vehicular Ad Hoc Networks., *Advances in Vehicular Ad-Hoc Networks : Developments and Challenges*, 2010, 10.4018/978-1-61520-913-2.ch008.
- [LI 01] LI J., BLAKE C., DE COUTO D. S., LEE H. I., MORRIS R., « Capacity of Ad Hoc wireless networks », *MobiCom '01 : Proc. of the 7th annual international conf. on Mobile computing and networking*, New York, NY, USA, 2001, p. 61–69.
- [LIN 06] LIN L., OSAFUNE T., LENARDI M., « Floating car data system enforcement through vehicle to vehicle communications », *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on*, june 2006, p. 122 -126.
- [MAB 06] MABIALA M., BUSSON A., VÈQUE V., « Analyse du trafic et du routage dans un réseau Ad Hoc de véhicules », *Colloque Francophone sur l'Ingénierie des Protocoles - CFIP 2006*, 2006.
- [MAS 11a] MASLEKAR N., BOUSSEDJRA M., MOUZNA J., LABIOD H., « VANET based Adaptive Traffic Signal Control », *IEEE 73rd Vehicular Technology Conference : VTC2011-Spring*, Budapest(H), 2011.
- [MAS 11b] MASLEKAR N., MOUZNA J., LABIOD H., DEVISETTY M., PAI M., « Modified C-DRIVE : Clustering based on direction in vehicular environment », *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2011 IEEE*, june 2011, p. 845 -850.
- [MEN 07] MENOUE H., LENARDI M., FILALI F., « Movement Prediction-Based Routing (MOPR) Concept for Position-Based Routing in Vehicular Networks », *Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall. 2007 IEEE 66th*, 30 2007-oct. 3 2007, p. 2101 -2105.
- [NIU 06] NIU X., TAO Z., WU G., HUANG C., CUI L., « Hybrid Cluster Routing : An Efficient Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks », *IEEE International Conference on Communications, ICC'06*, vol. 8, 2006.
- [NOC 03] NOCETTI F. G., GONZALEZ J. S., STOJMENOVIC I., « Connectivity Based  $k$ -Hop Clustering in Wireless Networks », *Telecommunication Systems*, vol. 22, n° 1–4, 2003, p. 205–220.
- [OHT 03] OHTA T., INOUE S., KAKUDA Y., « An Adaptive Multihop Clustering Scheme for Highly Mobile Ad Hoc Networks », *Proceedings of the The Sixth International Symposium on Autonomous Decentralized Systems (ISADS'03)*, Washington, DC, USA, 2003, page 293.
- [OHT 07] OHTA T., MURAKAMI N., KAKUDA Y., « Performance Evaluation of Autonomous Clustering for Hierarchical Routing Protocols in Mobile Ad Hoc Networks », *ICDCSW '07*, Washington, DC, USA, 2007, page 56.
- [OHT 12] OHTA Y., OHTA T., KAKUDA Y., « An autonomous clustering-based data transfer scheme using positions and moving direction of vehicles for VANETs », *Proc. IEEE Wireless Communications and*

- Networking Conference (WCNC 2012)*, Paris, France, 04 2012, p. 2927-2931.
- [RAW 08] RAWASHDEH Z., MAHMUD S., « Media Access Technique for Cluster-Based Vehicular Ad Hoc Networks », *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. IEEE 68th*, sept. 2008, p. 1 -5.
- [RÉM 11] RÉMY G., SENOUCI S.-M., JAN F., GOURHANT Y., « LTE4V2X - Impact of high Mobility in Highway Scenarios », *Global Information Infrastructure Symposium (GIIS), 2011*, aug. 2011, p. 1 -7.
- [RÉM 12] RÉMY G., SENOUCI S.-M., JAN F., GOURHANT Y., « LTE4V2X - Collection, dissemination and multi-hop forwarding », IEEE, Ed., *Proc. of ICC'12*, Ottawa (CA), 06 2012, to appear.
- [SAN 06] SANTOS R., EDWARDS A., « A Reactive Location Routing Algorithm with Cluster-Based Flooding for Inter-Vehicle Communication », *Computación y Sistemas*, vol. 9, n° 4, 2006, p. 297-313.
- [SHE 09] SHEA C., HASSANABADI B., VALAEE S., « Mobility-Based Clustering in VANETs Using Affinity Propagation », *Global Telecommunications Conference, 2009. GLOBECOM 2009. IEEE*, 30 2009-dec. 4 2009, p. 1 -6.
- [SOU 10] SOUZA E., NIKOLAIDIS I., GBURZYNSKI P., « A New Aggregate Local Mobility (ALM) Clustering Algorithm for VANETs », *Communications (ICC), 2010 IEEE International Conference on*, may 2010, p. 1 -5.
- [TAL 06] TALEB T., OCHI M., JAMALIPOUR A., KATO N., NEMOTO Y., « An efficient vehicle-heading based routing protocol for VANET networks », *Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006. IEEE*, vol. 4, april 2006, p. 2199 -2204.
- [WIS 07] WISITPONGPHAN N., BAI F., MUDALIGE P., SADEKAR V., TONGUZ O., « Routing in Sparse Vehicular Ad Hoc Wireless Networks », *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, vol. 25, n° 8, 2007, p. 1538 -1556.
- [YU 05] YU J. Y., CHONG P. H. J., « A survey of clustering schemes for mobile ad hoc networks », *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 7, n° 1, 2005, p. 32-48.